



Bescheinigung

EP00/3125

Die Thyssen Krupp Stahl AG in Düsseldorf/Deutschland hat eine Patentanmeldung unter der Bezeichnung

"Verfahren zum Herstellen von nicht kornorientiertem Elektroblech"

am 5. Juli 1999 beim Deutschen Patent- und Markenamt eingereicht.

Das angeheftete Stück ist eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlage dieser Patentanmeldung.

Die Anmeldung hat im Deutschen Patent- und Markenamt vorläufig die Symbole B 21 B, C 21 D und C 22 C der Internationalen Patentklassifikation erhalten.

München, den 2. Mai 2000

Deutsches Patent- und Markenamt

Der Präsident

Im Auftrag

Faust



Aktenzeichen: 199 30 519.6

**PRIORITY
DOCUMENT**

SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

SI/cs 990287
05. Juli 1999

**Verfahren zum Herstellen von
nicht kornorientiertem Elektroblech**

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Herstellen von nicht kornorientiertem Elektroblech, bei dem aus einem aus einem Stahl erzeugten Vormaterial, wie gegossenen Brammen, Bändern, Vorbändern oder Dünnbrammen, ein Warmband gefertigt wird, wobei das Elektroblech einen geringen Ummagnetisierungsverlust und eine hohe Polarisierung sowie gute mechanische Eigenschaften besitzt. Derartige nichtkornorientierte Elektrobleche werden hauptsächlich als Kernmaterial in elektrischen Maschinen, wie Motoren und Generatoren, mit rotierender magnetischer Flußrichtung verwendet.

Unter dem Begriff "nichtkornorientiertes Elektroblech" werden hier unter die DIN 10106 ("schlußgeglühtes Elektroblech") und DIN 10165 ("nicht schlußgeglühtes Elektroblech") fallende Elektrobleche verstanden. Darüber hinaus werden auch stärker anisotrope Sorten einbezogen, solange sie nicht als kornorientierte Elektrobleche gelten.

Von der verarbeitenden Industrie wird die Forderung gestellt, nichtkornorientierte Elektrobleche zur Verfügung zu stellen, deren magnetische Eigenschaften gegenüber herkömmlichen Blechen dieser Art angehoben sind. So sollen die Ummagnetisierungsverluste herabgesetzt und die Polarisierung im jeweils genutzten

Induktionsbereich erhöht werden. Gleichzeitig ergeben sich aus den jeweiligen Be- und Verarbeitungsschritten, welchen die Elektrobleche im Zusammenhang mit ihren Verwendungen unterworfen werden, spezielle Anforderungen an die mechanisch-technologischen Eigenschaften der Elektrobleche. In diesem Zusammenhang kommt der Schneidbarkeit der Bleche, z.B. beim Stanzen, besondere Bedeutung zu.

Durch die Erhöhung der magnetischen Polarisierung wird der Magnetisierungsbedarf reduziert. Damit einhergehend gehen auch die Kupferverluste zurück, welche einen wesentlichen Anteil an den beim Betrieb elektrischer Maschinen entstehenden Verlusten haben. Der wirtschaftliche Wert nichtkornorientierter Elektrobleche mit erhöhter Permeabilität ist daher erheblich.

Die Forderung nach höherpermeablen nichtkornorientierten Elektroblechsorten betrifft nicht nur nichtkornorientierte Elektrobleche mit hohen Verlusten ($P_{1,5} \geq 5 - 6 \text{ W/kg}$), sondern auch Bleche mit mittleren ($3,5 \text{ W/kg} \leq P_{1,5} \leq 5,5 \text{ W/kg}$) und niedrigen Verlusten ($P_{1,5} \leq 3,5$). Daher ist man bemüht, das gesamte Spektrum der schwach-, mittel- und hochsilizierten elektrotechnischen Stähle hinsichtlich seiner magnetischen Polarisationswerte zu verbessern.

Ein Weg, basierend auf mittel- oder schwachsilizierten Legierungen ein höherpermeables Elektroblech herzustellen, besteht darin, im Zuge der Herstellung das Warmband einer Warmbandglühung zu unterziehen. So wird beispielsweise in der WO 96/00306 vorgeschlagen, ein für die Erzeugung eines Elektroblechs bestimmtes Warmband im Austenitgebiet fertig zu walzen und das Haspeln bei

Temperaturen oberhalb der vollständigen Umwandlung in Ferrit vorzunehmen. Zusätzlich ist ein Glühen des Coils unmittelbar aus der Walzhitze vorgesehen. Auf diese Weise wird ein Endprodukt mit guten magnetischen Eigenschaften erhalten. Allerdings müssen dazu wegen des hohen Energieaufwands für das Wärmen vor und während des Warmwalzens sowie wegen der erforderlichen Legierungszusätze erhöhte Kosten in Kauf genommen werden.

Gemäß der EP 0 469 980 ist eine erhöhte Haspeltemperatur in Kombination mit einer zusätzlichen Warmbandglühung anzustreben, um auch bei niedrigen Legierungsgehalten brauchbare magnetische Eigenschaften zu erhalten. Auch dies kann nur unter Inkaufnahme zusätzlicher Kosten bewerkstelligt werden.

Die Aufgabe der Erfindung besteht darin, einen kostengünstigen Weg zur Herstellung von Elektroblechen mit verbesserten Eigenschaften anzugeben.

Diese Aufgabe wird durch ein Verfahren zum Herstellen von nicht kornorientiertem Elektroblech gelöst, bei dem aus einem Vormaterial, wie gegossenen Brammen, Bändern oder Dünnbrammen, das aus einem Stahl mit (in Gewichts-%) $0,001 - 0,05 \% C$, $\leq 1,5 \% Si$, $\leq 0,4 \% Al$, mit $Si + 2 Al \leq 1,7 \%$, $0,1 - 1,2 \% Mn$, gegebenenfalls bis insgesamt $1,5 \%$ an Legierungszusätzen, wie P , Sn , Sb , Zr , V , Ti , N , Ni , Co , Nb und/oder B , und als Rest Eisen sowie üblichen Begleitelementen hergestellt ist, ein Warmband erzeugt wird, indem das Vormaterial direkt aus der Gießhitze oder nach einem vorhergehenden Wiedererwärmen auf eine mindestens $1000^{\circ}C$ und höchstens $1180^{\circ}C$ betragende Wiedererwärmungstemperatur in

mehreren Umformstichen warmgewalzt und anschließend gehaspelt wird, wobei während des Warmwalzens mindestens der erste Umformstich im Austenitgebiet und mindestens ein weiterer Umformstich im Zweiphasenmischgebiet Austenit / Ferrit durchgeführt wird und wobei während des Walzens im Zweiphasenmischgebiet eine Gesamtformänderung ϵ_h von mindestens 35 % erreicht wird.

Gemäß der Erfindung werden die magnetischen Eigenschaften eines Elektroblechs durch eine Verformung während der einzelnen im Zuge des Warmwalzens durchlaufenen Umformstiche in Abhängigkeit vom jeweiligen Gefügezustand gezielt beeinflußt. Entscheidenden Anteil hat dabei das Walzen im Zweiphasenmischgebiet, wogegen der Anteil der Umformung im Ferritgebiet möglichst gering sein soll. Das erfindungsgemäße Verfahren ist daher insbesondere für die Verarbeitung von solchen Fe-Si-Legierungen geeignet, welche ein ausgeprägtes Zweiphasenmischgebiet zwischen dem Austenit- und dem Ferritgebiet aufweisen.

Die Abstimmung der Legierungszusätze an ferrit- und austenitbildenden Elementen ist unter Berücksichtigung der erfindungsgemäß vorgesehenen Gehaltsbereiche der einzelnen Elemente ausgehend von einer Basiszusammensetzung von $(\text{Si} + 2\text{Al}) \leq 1,7$ vorzunehmen; und zwar derart, daß eine ausreichende Ausprägung des Zweiphasenmischgebiets gegeben ist.

Im Fall der Verwendung von gegossenen Brammen als Vormaterial werden diese auf eine Temperatur $\geq 1000^\circ\text{C}$ wiedererwärmt, so daß das Material sich vollständig im austenitischen Zustand befindet. Aus dem gleichen Grunde werden auch Dünnbrammen oder Bänder unter Ausnutzung der

Gießhitze direkt eingesetzt und erforderlichenfalls auf Walzanfangstemperatur von mehr als 1000 °C erwärmt. Dabei wächst die erforderliche Wiedererwärmungstemperatur mit zunehmendem Si-Gehalt, wobei eine Obergrenze von 1180 °C nicht überschritten wird.

Das Warmwalzen gemäß der Erfindung wird in der Regel in einer aus mehreren Walzgerüsten gebildeten Fertigwalzstaffel durchgeführt. Dabei besteht der Zweck des in einem oder mehreren Stichen erfolgenden Walzens im Austenitgebiet zum einen darin, den Übergang vom Austenit ins Zweiphasenmischgebiet und vom Zweiphasenmischgebiet ins Ferritgebiet kontrolliert innerhalb der Fertigwalzstaffel durchführen zu können. Zum anderen dienen die im Austenitgebiet durchlaufenden Umformstiche dazu, die Dicke des Warmbands vor dem Beginn des Walzens im Zweiphasenmischgebiet so einzustellen, daß die während des im Zweiphasenmischgebiet erfolgenden Walzens ("Mischwalzen") erwünschte Gesamtformänderung sicher erreicht wird. Das Mischwalzen umfaßt ebenfalls mindestens einen Umformstich. Vorzugsweise werden jedoch mehrere Umformstiche im Mischgebiet Austenit / Ferrit durchlaufen, um die bei diesem Mischwalzen geforderte Gesamtformänderung von mindestens 35 % sicher zu erreichen und so die gewünschte Einstellung des Warmbandgefüges zu erhalten.

Unter der "Gesamtformänderung ϵ_h " wird hier das Verhältnis der Dickenabnahme während des Walzens im jeweiligen Phasengebiet zur Dicke des Bandes beim Eintritt in das betreffende Phasengebiet verstanden. Dieser Definition entsprechend weist ein gemäß der

Erfindung hergestelltes Warmband beispielsweise nach dem Walzen im Austenitgebiet eine Dicke h_0 auf. Im Zuge des darauffolgenden Walzens im Zweiphasenmischgebiet wird die Dicke des Warmbands auf h_1 reduziert.

Definitionsgemäß ergibt sich damit die beispielsweise während des Mischwalzens erreichte Gesamtformänderung ϵ_h zu $(h_0 - h_1) / h_0$ mit h_0 = Dicke beim Eintritt in das erste im Mischzustand Austenit / Ferrit durchlaufene Walzgerüst und h_1 = Dicke beim Verlassen des letzten im Mischzustand durchlaufenen Walzgerüsts.

Gemäß der Erfindung soll die Gesamtformänderung ϵ_h während des Walzens im Zweiphasenmischgebiet Austenit / Ferrit mindestens 35 % erreichen, um einen die gewünschten magnetischen und technologischen Eigenschaften begünstigenden Zustand des warmgewalzten Bandes hinsichtlich Korngröße, Textur und Ausscheidungen einzustellen bzw. für die nachfolgenden Verarbeitungsschritte vorzubereiten.

Durch das schwerpunktmäßig als Mischwalzen unter weitgehender Umgehung eines Walzens im Ferritgebiet erfolgende Warmwalzen läßt sich ein Warmband erzeugen, welches im weiteren zur Herstellung eines Elektroblechs und zur Fertigung von Bauteilen mit hervorragenden magnetischen Eigenschaften genutzt werden kann. Kosten verursachende zusätzliche Verarbeitungsschritte oder das Einhalten bestimmter hoher Temperaturen während des Warmwalzens sind zu diesem Zweck nicht erforderlich. Statt dessen ermöglicht das erfindungsgemäße Verfahren durch eine sowohl hinsichtlich der Temperaturführung als auch hinsichtlich der Staffelung der Umformungen optimierte Walzstrategie in Verbindung mit einer

geeignet gewählten Haspeltemperatur die kostengünstige Erzeugung eines hochwertigen Elektroblechmaterials.

Es ist festgestellt worden, daß sich schon durch die Kombination der erfindungsgemäßen Maßnahmen Elektrobleche herstellen lassen, deren Eigenschaften den Eigenschaften von solchen in herkömmlicher Weise hergestellten Elektroblechen gleichkommen, die zusätzliche zeit- und kostenaufwendige Verfahrensschritte, wie ein ergänzendes Warmbandglühen, durchlaufen haben. Weiter ist festgestellt worden, daß für den Fall, daß ein Warmbandglühen in Ergänzung der erfindungsgemäßen Vorgehensweise angewendet wird, das Zusammenwirken dieser Maßnahmen zu Elektroblechen führt, die in ihren magnetischen und mechanischen Eigenschaften herkömmlich hergestellten Elektroblechen überlegen sind. Somit bewirkt die Erfindung einerseits eine deutliche Verminderung der Kosten bei der Herstellung von qualitativ hochwertigen Elektroblechen. Andererseits lassen sich auf Grundlage des erfindungsgemäßen Verfahrens Bleche erzeugen, deren Eigenschaften herkömmlich erzeugten Elektroblechen weit überlegen sind.

Eine vorteilhafte Ausgestaltung der Erfindung ist dadurch gekennzeichnet, daß das Warmband nach der Umformung im Austenitgebiet ausschließlich im Zweiphasenmischgebiet Austenit / Ferrit fertig gewalzt wird. Dabei sollte die während des Walzens im Zweiphasenmischgebiet Austenit / Ferrit erreichte Gesamtformänderung ϵ_h mindestens 40 % betragen. Bei dieser Variante des erfindungsgemäßen Verfahrens wird das Walzen im Ferritzustand des Warmbandes vollständig vermieden. Besonders geeignet für diese Abfolge der

Walzschritte unter Ausschluß des Walzens im Ferritgebiet sind Bänder, welche basierend auf Fe-Si-Stählen hergestellt sind, die ein ausgeprägtes Zweiphasenmischgebiet Austenit / Ferrit beim Übergang vom Austenit ins Ferrit besitzen. Hierbei kann durch eine geeignete Wahl des Verhältnisses von Umformgrad und Umformgeschwindigkeit, d.h. Ausnutzung der bei der Umformung entstehenden Wärme, eine optimale Temperaturführung im Sinne der Vermeidung einer Abkühlung des Walzgutes und damit eine vollständige Umwandlung in Ferrit vermieden werden.

Gemäß einer alternativen Variante des erfindungsgemäßen Verfahrens wird im Anschluß an das Walzen im Zweiphasenmischgebiet Austenit / Ferrit mindestens ein Umformstich im Ferritgebiet durchgeführt. Dabei sollte die während des Walzens im Ferritgebiet erreichte Gesamtformänderung ϵ_n mindestens 10 % und höchstens 33 % betragen. Auch bei dieser Ausgestaltung der Erfindung ist das Walzen im Ferritgebiet auf ein Mindestmaß beschränkt, so daß der Schwerpunkt der Umformung trotz des abschließenden Walzens im Ferritgebiet unverändert im Mischgebiet Austenit / Ferrit liegt.

Grundsätzlich eignet sich für die Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens eine Haspeltemperatur von mindestens 700 °C. Bei Einhaltung dieser Haspeltemperatur kann eine Warmbandglühung ganz oder zumindest zum wesentlichen Teil eingespart werden. Das Warmband wird schon im Coil entfestigt, wobei die seine Eigenschaften bestimmenden Merkmale, wie Korngröße, Textur und Ausscheidungen, positiv beeinflußt werden. Besonders vorteilhaft ist es in diesem Zusammenhang, wenn das gehaspelte Warmband aus der Coilhitze einer

direkten Glühung unterzogen wird und wenn die Glühzeit bei einer Glühtemperatur oberhalb 700 °C mindestens 15 Minuten beträgt. Eine solche "in-line" ausgeführte Glühung des bei hoher Temperatur aufgehaspelten, im Coil nicht wesentlich abgekühlten Warmbandes kann eine andernfalls unter Umständen erforderliche Warmbandhaubenglühung vollständig ersetzen. So lassen sich geglühte Warmbänder mit besonders guten magnetischen und technologischen Eigenschaften herstellen. Der dazu erforderliche Zeit- und Energieaufwand ist erheblich geringer als bei der herkömmlicherweise zur Verbesserung der Eigenschaften von Elektroblech durchgeführten Warmbandglühung.

Gemäß einer insbesondere für die Verarbeitung eines Stahls mit einem Si-Gehalt von mindestens 0,7 Gewichts-% besonders geeigneten Ausgestaltung der Erfindung wird das Warmband nach dem Walzen in der Fertigstaffel bei einer Haspeltemperatur von weniger als 600 °C, insbesondere weniger als 550 °C, gehaspelt. Das Haspeln bei diesen Temperaturen führt bei den betreffenden Legierungen zu einem verfestigten Warmbandzustand.

Vorzugsweise wird mindestens bei einem der letzten Umformstiche im Ferritgebiet mit Schmierung warmgewalzt. Durch das Warmwalzen mit Schmierung treten einerseits geringere Scherverformungen auf, so daß das gewalzte Band im Ergebnis eine homogenere Struktur über den Querschnitt erhält. Andererseits werden durch die Schmierung die Walzkräfte vermindert, so daß über dem jeweiligen Walzstich eine höhere Dickenabnahme möglich ist. Daher kann es, je nach den gewünschten Eigenschaften des zu erzeugenden Elektroblechs, vorteilhaft sein, wenn sämtliche im Ferritgebiet

erfolgenden Umformstiche mit einer Walzschmierung durchgeführt werden.

Unabhängig von der jeweils gewählten Abfolge der Walzschritte kann eine weitere Verbesserung der Eigenschaften des erzeugten Elektrobandes dadurch erreicht werden, daß das Warmband nach dem Haspeln und Abkühlen zusätzlich bei einer Glühtemperatur von mindestens 740 °C geglüht wird. Dieses Glühen kann im Haubenofen oder im Durchlaufofen durchgeführt werden.

Das auf erfindungsgemäße Weise hergestellte Warmband ist aufgrund seiner mechanischen Eigenschaften besonders dazu geeignet, in herkömmlicher Weise ein- oder mehrstufig auf eine Enddicke kaltgewalzt zu werden. Sofern das Kaltwalzen mehrstufig durchgeführt wird, sollte im Anschluß an mindestens eine der Kaltwalzstufen ein Zwischenglühen erfolgen, um die guten mechanischen Eigenschaften des Bandes beizubehalten.

Soll ein "fully-finished"-Elektroband hergestellt werden, so schließt sich an das Kaltwalzen ein Schlußglühen bei einer Glühtemperatur an, welche vorzugsweise > 740 °C ist.

Soll dagegen ein "semi-finished"-Elektroband erzeugt werden, so schließt sich an das gegebenenfalls mehrstufig durchgeführte Kaltwalzen ein rekristallisierendes Glühen im Hauben- oder Durchlaufofen bei Temperaturen von mindestens 650 °C an. Im Anschluß daran wird das kaltgewalzte und geglühte Elektroband gerichtet und nachgewalzt.

Erfindungsgemäß hergestelltes, kaltgewalztes Elektroband ist hervorragend schneid- und stanzbar und eignet sich als solches besonders dazu, zu Bauelementen, wie Lamellen oder Ronden, verarbeitet zu werden. Im Falle der Verarbeitung eines "semi-finished"-Elektroblechs werden zweckmäßigerweise die aus diesem Elektroblech hergestellten Bauelemente beim Anwender schlußgeglüht.

Unabhängig davon, ob ein "semi-" oder ein "fully-finished" Elektroblech erzeugt wird, erfolgt gemäß einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung die Schlußglühung des kaltgewalzten Elektroblechs vorzugsweise in einer entkohlenden Atmosphäre.

Nachfolgend wird die Erfindung anhand von Ausführungsbeispielen näher erläutert.

"J2500", "J5000" bzw. "J10000" bezeichnen im folgenden die magnetische Polarisation bei magnetischen Feldstärken von 2500 A/m, 5000 A/m bzw. 10000 A/m.

Unter "P 1,0" bzw. "P 1,5" wird der Ummagnetisierungsverlust bei einer Polarisation von 1,0 T bzw. 1,5 T und einer Frequenz von 50 Hz verstanden.

Die in den nachfolgenden Tabellen angegebenen magnetischen Eigenschaften sind jeweils an Einzelstreifen längs der Walzrichtung gemessen worden.

In Tabelle 1 sind für drei zur erfindungsgemäßen Herstellung von Elektroblech verwendete Stähle die Gehalte der wesentlichen Legierungsbestandteile in Gewichts-% angegeben.

Stahl	C	Si	Al	Mn
A	0,008	0,1	0,12	0,34
B	0,008	0,33	0,25	0,81
C	0,007	1,19	0,13	0,23

Tabelle 1

Die aus den Stählen A, B bzw. C gegossenen Brammen sind als Vormaterial jeweils auf eine Temperatur von mehr als 1000 °C wiedererwärmt und in eine mehrere Walzgerüste umfassende Fertigwalzstaffel geleitet worden. In der Fertigwalzstaffel ist mindestens der erste Umformstich ausschließlich im Austenitgebiet durchgeführt worden.

In Tabelle 2 sind die magnetischen Eigenschaften J_{2500} , J_{5000} , J_{10000} , $P_{1,0}$ und $P_{1,5}$ für zwei aus den Stählen A bzw. B erzeugten Elektrobleche B1, B2 angegeben. Die für die Herstellung der Elektrobleche B1, B2 bestimmten jeweiligen Warmbänder sind im Anschluß an das Walzen im Austenitgebiet bei einem Gesamtumformgrad ϵ_n von 66 % im Zweiphasenmischgebiet Austenit / Ferrit fertig gewalzt worden. Die gewalzten Warmbänder sind daraufhin bei einer Haspeltemperatur von 750 °C gehaspelt worden. Unmittelbar anschließend sind die gehaspelten Warmbänder abgekühlt und der Weiterverarbeitung zugeleitet worden.

Blech	J_{2500} [T]	J_{5000} [T]	J_{10000} [T]	$P_{1,0}$ [W/kg]	$P_{1,5}$ [W/kg]
B1	1,739	1,813	1,9091	3,594	7,130
B2	1,724	1,802	1,896	3,002	5,959

Tabelle 2

In Tabelle 3 sind die magnetischen Eigenschaften J_{2500} , J_{5000} , J_{10000} , $P_{1,0}$ und $P_{1,5}$ für Elektrobleche B3, B4, B5 angegeben. Das Blech B3 ist unter Verwendung des Stahls A, das Blech B4 unter Verwendung des Stahls B und das Blech B5 unter Verwendung des Stahls C erzeugt worden. Die zur Herstellung der Elektrobleche B3, B4, B5 bestimmten Warmbänder sind ebenfalls nach der Umformung im Austenitgebiet ausschließlich im Zweiphasenmischgebiet Austenit / Ferrit umgeformt worden. Die dabei erreichte Gesamtumformung ϵ_h beim Walzen im Mischgebiet betrug 66 %. Anschließend sind die Warmbänder bei einer Temperatur von 750 °C gehaspelt worden. Im Unterschied zur Herstellung der Elektrobleche B1, B2 sind die für die Herstellung der Bleche B3, B4, B5 bestimmten Warmbänder dann jedoch für eine Zeit von mindestens 15 Minuten auf der Haspeltemperatur gehalten worden, bevor sie der Weiterverarbeitung zu Kaltband zugeführt worden sind.

Blech	J_{2500} [T]	J_{5000} [T]	J_{10000} [T]	$P_{1,0}$ [W/kg]	$P_{1,5}$ [W/kg]
B3	1,755	1,828	1,920	3,258	6,522
B4	1,737	1,812	1,909	3,075	6,101
B5	1,689	1,765	1,859	2,596	5,304

Tabelle 3

In Tabelle 4 sind die magnetischen Eigenschaften J_{2500} , J_{5000} , J_{10000} , $P_{1,0}$ und $P_{1,5}$ für Elektrobleche B6, B7, B8 angegeben, welche, in der angegebenen Reihenfolge, ebenfalls basierend auf den Stählen A, B bzw. C erzeugt worden sind. Die zur Herstellung der Elektrobleche B6, B7, B8 bestimmten Warmbänder sind nach der Umformung im Austenitgebiet im Zweiphasenmischgebiet Austenit /

Ferrit umgeformt worden. Die dabei erreichte Gesamtumformung ϵ_h im Zweiphasenmischgebiet betrug 50 %. Anschließend hat das Warmband mehrere Umformstiche im Ferritgebiet durchlaufen. Die dabei erreichte Gesamtumformung ϵ_h im Ferritgebiet betrug weniger als 30 %. Das derart fertig gewalzte Warmband ist bei einer Temperatur von 750 °C gehaspelt worden. Unmittelbar anschließend ist das Warmband im Coil abgekühlt worden.

Blech	J ₂₅₀₀ [T]	J ₅₀₀₀ [T]	J ₁₀₀₀₀ [T]	P _{1,0} [W/kg]	P _{1,5} [W/kg]
B6	1,748	1,822	1,916	3,564	7,121
B7	1,721	1,797	1,893	2,935	5,868
B8	1,709	1,791	1,884	2,630	5,246

Tabelle 4

In Tabelle 5 sind die magnetischen Eigenschaften J₂₅₀₀, J₅₀₀₀, J₁₀₀₀₀, P_{1,0} und P_{1,5} für Elektrobleche B9, B10, B11 angegeben. Das Blech B9 ist unter Verwendung des Stahls A, das Blech B10 unter Verwendung des Stahls B und das Blech B11 unter Verwendung des Stahls C erzeugt worden. Die zur Herstellung der Elektrobleche B9, B10, B11 bestimmten Warmbänder sind in der Fertigwalzstaffel denselben Umformungen unterzogen worden wie die zur Herstellung der Bleche B6, B7, B8 bestimmten Bänder. Das derart fertig gewalzte Warmband ist bei einer Temperatur von 750 °C gehaspelt worden. Im Unterschied zur Herstellung der Elektrobleche B6, B7, B8 sind die für die Herstellung der Bleche B9, B10, B11 bestimmten Warmbänder dann jedoch für eine Zeit von mindestens 15 Minuten auf der Haspeltemperatur gehalten worden, bevor sie der Weiterverarbeitung zu Kaltband zugeführt worden sind.

Blech	J ₂₅₀₀ [T]	J ₅₀₀₀ [T]	J ₁₀₀₀₀ [T]	P _{1,0} [W/kg]	P _{1,5} [W/kg]
B9	1,746	1,819	1,914	3,305	6,657
B10	1,731	1,805	1,901	2,909	5,811
B11	1,690	1,765	1,858	2,587	5,304

Tabelle 5

Schließlich sind in Tabelle 6 die magnetischen Eigenschaften J₂₅₀₀, J₅₀₀₀, J₁₀₀₀₀, P_{1,0} und P_{1,5} für ein Elektroblech B12 angegeben, das basierend auf dem Stahl C erzeugt worden ist. Nach der Umformung im Austenitgebiet ist das zur Herstellung des Elektroblechs B12 bestimmte Warmband ausschließlich im Zweiphasenmischgebiet Austenit / Ferrit umgeformt worden. Die dabei erreichte Gesamtumformung ϵ_n im Zweiphasenmischgebiet betrug 66 %. Das fertig gewalzte Warmband ist dann bei einer Temperatur von weniger als 600 °C gehaspelt worden. Unmittelbar anschließend ist das Warmband im Coil abgekühlt worden.

Blech	J ₂₅₀₀ [T]	J ₅₀₀₀ [T]	J ₁₀₀₀₀ [T]	P _{1,0} [W/kg]	P _{1,5} [W/kg]
B12	1,724	1,800	1,894	2,577	5,105

Tabelle 6

P A T E N T A N S P R Ü C H E

1. Verfahren zum Herstellen von nicht kornorientiertem Elektroblech, bei dem aus einem Vormaterial, wie gegossenen Brammen, Bändern, Vorbändern oder Dünnbrammen, das aus einem Stahl mit (in Gewichts-%)

C: 0,001 - 0,05 %

Si: ≤ 1,5 %

Al: ≤ 0,4 %

mit $Si + 2Al \leq 1,7 \%$

Mn: 0,1 - 1,2 %

gegebenenfalls bis insgesamt 1,5 % an

Legierungszusätzen, wie P, Sn, Sb, Zr, V, Ti, N, Ni, Co, Nb und/oder B, und

als Rest Eisen sowie üblichen Begleitelementen

hergestellt ist, ein Warmband erzeugt wird, indem das Vormaterial direkt aus der Gießhitze oder nach einem vorhergehenden Wiedererwärmen auf eine mindestens 1000 °C und höchstens 1180 °C betragende Wiedererwärmungstemperatur in mehreren Umformstichen warmgewalzt und anschließend gehaspelt wird, wobei während des Warmwalzens mindestens der erste Umformstich im Austenitgebiet und mindestens ein weiterer Umformstich im Zweiphasenmischgebiet Austenit / Ferrit durchgeführt wird und wobei während des Walzens im Zweiphasenmischgebiet eine Gesamtformänderung ϵ_h von mindestens 35 % erreicht wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, d a d u r c h
g e k e n n z e i c h n e t, d a ß das Warmband
nach der Umformung im Austenitgebiet ausschließlich
im Zweiphasenmischgebiet Austenit / Ferrit fertig
gewalzt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 2, d a d u r c h
g e k e n n z e i c h n e t, d a ß die während
des Walzens im Zweiphasenmischgebiet Austenit /
Ferrit erreichte Gesamtformänderung ϵ_h mindestens
40 % beträgt.
4. Verfahren nach Anspruch 1, d a d u r c h
g e k e n n z e i c h n e t, d a ß im Anschluß an
das Walzen im Zweiphasenmischgebiet Austenit /
Ferrit mindestens ein Umformstich im Ferritgebiet
durchgeführt wird.
5. Verfahren nach Anspruch 4, d a d u r c h
g e k e n n z e i c h n e t, d a ß die während
des Walzens im Ferritgebiet erreichte
Gesamtformänderung ϵ_h mindestens 10 % und höchstens
33 % beträgt.
6. Verfahren nach einem der voranstehenden Ansprüche,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, d a ß
die Haspeltemperatur mindestens 700 °C beträgt.
7. Verfahren nach Anspruch 6, d a d u r c h
g e k e n n z e i c h n e t, d a ß das gehaspelte
Warmband aus der Coilhitze einer direkten Glühung
unterzogen wird und d a ß die Glühzeit bei einer
Glühtemperatur oberhalb 700 °C mindestens 15
Minuten beträgt.

8. Verfahren nach Anspruch 5, d a d u r c h
g e k e n n z e i c h n e t, d a ß der Stahl
einen Si-Gehalt von mindestens 0,7 Gewichts-%
aufweist.
9. Verfahren nach einem der voranstehenden Ansprüche,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, d a ß
die Haspeltemperatur weniger als 600 °C,
insbesondere weniger als 550 °C, beträgt.
10. Verfahren nach Anspruch 8 oder 9, d a d u r c h
g e k e n n z e i c h n e t, d a ß das Warmband
in unmittelbarem Anschluß an das Haspeln im Coil
beschleunigt abgekühlt wird.
11. Verfahren nach einem der voranstehenden Ansprüche,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, d a ß
während des Warmwalzens im Ferritgebiet mindestens
ein Umformstich mit Schmierung durchgeführt wird.
12. Verfahren nach Anspruch 11, d a d u r c h
g e k e n n z e i c h n e t, d a ß alle
Umformstiche im Ferritgebiet mit einer
Walzenschmierung durchgeführt werden.
13. Verfahren nach einem der voranstehenden Ansprüche,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, d a ß
das Warmband nach dem Haspeln bei einer
Glühtemperatur von mindestens 740 °C gegläht wird.

14. Verfahren nach Anspruch 13, d a d u r c h
g e k e n n z e i c h n e t, d a ß das Glühen des
zu einem Coil gehaspelten Warmbands im Haubenofen
durchgeführt wird.
15. Verfahren nach Anspruch 13, d a d u r c h
g e k e n n z e i c h n e t, d a ß das Glühen im
Durchlaufofen durchgeführt wird.
16. Verfahren nach einem der voranstehenden Ansprüche,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, d a ß
das Warmband ein- oder mehrstufig auf eine Enddicke
kaltgewalzt wird.
17. Verfahren nach Anspruch 16, d a d u r c h
g e k e n n z e i c h n e t, d a ß das Kaltwalzen
mehrstufig durchgeführt wird und d a ß im Anschluß
an mindestens eine der Kaltwalzstufen ein
Zwischenglühen erfolgt.
18. Verfahren nach einem der Ansprüche 16 oder 17,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, d a ß
das Kaltband im Anschluß an das Kaltwalzen bei
einer Glühtemperatur $> 740^{\circ}\text{C}$ schlußgeglüht wird.
19. Verfahren nach einem der Ansprüche 16 und 17,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, d a ß
das Kaltband nach dem Kaltwalzen in einem Hauben-
oder Durchlaufofen bei Glühtemperaturen $> 650^{\circ}\text{C}$
rekristallisierend zu einem nicht schlußgeglühten

Elektroband geglüht und im Anschluß daran gerichtet und nachgewalzt wird.

20. Verfahren nach einem der Ansprüche 18 oder 19, dadurch gekennzeichnet, daß die Glühung in einer entkohlenden Atmosphäre durchgeführt wird.

SI/cs 990287
05. Juli 1999

Z U S A M M E N F A S S U N G

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum Herstellen von nicht kornorientiertem Elektroblech, bei dem aus einem Vormaterial, wie gegossenen Brammen, Bändern, Vorbändern oder Dünnbrammen, das aus einem Stahl mit (in Gewichts-%) C: 0,001 - 0,05 %, Si: $\leq 1,5$ %, Al: $\leq 0,4$ % mit $\text{Si} + 2\text{Al} \leq 1,7$ %, Mn: 0,1 - 1,2 %, gegebenenfalls bis insgesamt 1,5 % an Legierungszusätzen, wie P, Sn, Sb, Zr, V, Ti, N, Ni, Co, Nb und/oder B, und als Rest Eisen sowie üblichen Begleitelementen hergestellt ist, ein Warmband erzeugt wird, indem das Vormaterial direkt aus der Gießhitze oder nach einem vorhergehenden Wiedererwärmen auf eine mindestens 1000 °C und höchstens 1180 °C betragende Wiedererwärmungstemperatur in mehreren Umformstichen warmgewalzt und anschließend gehaspelt wird, wobei während des Warmwalzens mindestens der erste Umformstich im Austenitgebiet und mindestens ein weiterer Umformstich im Zweiphasenmischgebiet Austenit / Ferrit durchgeführt wird und wobei während des Walzens im Zweiphasenmischgebiet eine Gesamtformänderung ϵ_n von mindestens 35 % erreicht wird.